



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Saat ini pemerintah Indonesia sedang melakukan banyak pengembangan dalam bidang industri. Salah satu diantaranya dengan cara memenuhi kebutuhan bahan-bahan industri melalui pendirian pabrik-pabrik industri kimia. Sekarang ini jumlah dan macam industri di Indonesia cukup banyak yang belum dapat terpenuhi kebutuhannya dan biasanya untuk bisa memenuhi kebutuhannya setiap industri mengimpor bahan dari negara lain. Salah satu bahan yang diimpor dalam jumlah banyak adalah melamin.

Melamin yang biasa dikenal dengan nama 2-4-6 *triamino* 1-3-5 *triazine* dan memiliki rumus  $C_3H_6N_6$  merupakan salah satu bahan yang dihasilkan oleh industri petrokimia di Indonesia. Senyawa ini berwarna putih dan berbentuk kristal *monocyclic*. Biasanya melamin digunakan sebagai bahan baku pembuatan melamin resin, bahan sintesa organik, bahan pencampur cat, pelapis kertas, tekstil, leather tanning dan lain-lain. Bahan baku yang digunakan pada proses pembuatan melamin yaitu urea, sedangkan campuran amonia karbondioksida berfungsi sebagai *fluidizing gas* dengan katalis alumina.

Dilihat dari kebutuhan di industri-industri Indonesia sekarang ini, pemakaian melamin semakin meningkat, sehingga pendirian pabrik melamin dirasa sangat perlu sekali. Hal ini bertujuan agar dapat mengantisipasi permintaan di dalam negeri, dan mengurangi impor melamin serta membuka tenaga kerja baru.

#### 1.2 Kapasitas Rancangan

Penentuan kapasitas pabrik melamin dengan macam-macam pertimbangan sebagai berikut :

1. Perkiraan kebutuhan melamin di Indonesia

Dengan berkembangnya industri-industri pemakai melamin di Indonesia, seperti Industri *moulding*, industri *adhesive*, industri *surface coating*



menyebabkan kebutuhan melamin di Indonesia semakin meningkat. Saat ini Indonesia memiliki dua pabrik yang memproduksi melamin yaitu :

a. PT. Sri Melamin Rejeki (SMR)

PT SMR mulai memproduksi pada tahun 1994 dengan kapasitas 20.000 ton/tahun. Pabrik ini mendapat pasokan bahan baku dari PT Pupuk Sriwijaya Palembang.

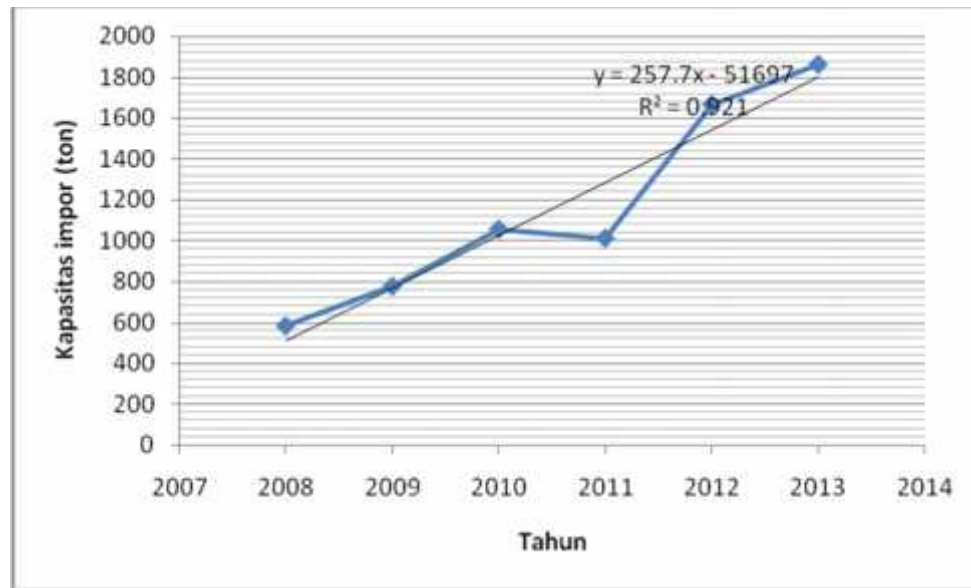
b. PT. DSM Kaltim Melamin

PT. DSM Kaltim Melamin mulai beroperasi pada tahun 1996, sebagai hasil kerja sama antara Pupuk Kalimantan Timur Tbk dengan DSM Holland. Kapasitas design pabrik ini 40.000 ton/ tahun dan telah dinaikkan menjadi 50.000 ton / tahun.

Sedangkan kebutuhan melamin yang belum dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri, masih mengimpor dari negara lain. Berikut data-data produksi dan impor melamin Indonesia dari tahun 1997 sampai tahun 2007.

**Tabel 1. Perkembangan Impor Melamin Indonesia 2008-2013**  
**(Badan Pusat Statistik, 2013)**

<b>Tahun</b>	<b>Impor (ton)</b>
2008	582,694
2009	776,702
2010	1055,739
2011	1011,757
2012	1665,736
2013	1862,081



**Gambar 1. Perkembangan Impor Melamin Indonesia 2008-2013**

Berdasarkan data pada tabel 1 maka dapat dihitung jumlah melamin yang harus diimpor pada tahun 2020,  $y = 257,7x - 51697$ , maka pada tahun 2020 didapatkan kebutuhan melamin sebesar 468.857 ton/tahun.

2. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku pembuatan melamin berupa urea, dapat dipenuhi dari dalam negeri dimana produksi urea di Indonesia cukup besar. Hal ini dapat dilihat dari perkembangan produksi urea di Indonesia yang mengalami peningkatan setiap tahunnya dan telah diekspor dalam jumlah yang besar.

3. Kapasitas Komersial

Dari data (Ullman, 2003), ternyata kapasitas pabrik melamin yang ada di dunia pada rentang 10.000-90.000 ton/tahun. Tabel 2 menunjukkan beberapa produsen melamin yang telah beroperasi di dunia.

**Tabel 2. Kapasitas Produksi Perusahaan Melamin di Dunia (Ullman, 2003)**

Negara	Perusahaan	Kapasitas (ton/tahun)
Fed. Rep. Germany	BASF	42.000
Netherland	DSM	90.000
United Sates	<i>Melamine Chemical</i>	47.000
Japan	<i>Mitsui Toatsu</i>	38.000
Taiwan	<i>Taiwan Fertilizer</i>	10.000

Berdasarkan ketiga pertimbangan diatas maka untuk perancangan awal pabrik melamin ini ditetapkan dengan kapasitas 150.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya untuk diekspor.

### 1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Lokasi yang dipilih untuk pendirian pabrik melamin ini adalah daerah Cikampek, Jawa Barat. Pemilihan lokasi ini berdasarkan pada beberapa faktor :

#### 1. Penyediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan melamin adalah urea yang kebutuhannya didapat dari PT. Pupuk Kujang yang berada di daerah Cikampek, Jawa Barat.

#### 2. Daerah Pemasaran

Industri pemakai produk Melamin di Pulau Jawa, seperti Jawa Timur, Jawa Barat dan Jawa Tengah, DKI Jakarta sebagai contoh PT. Arjuna Karya Utama yang merupakan produsen bahan perekat dan lain-lain.

#### 3. Penyediaan Bahan Bakar dan Energi

Daerah Cikampek merupakan kawasan Industri sehingga penyediaan bahan bakar dan energi dapat dipenuhi dengan baik.

#### 4. Penyediaan Air

Kebutuhan air untuk proses produksi dapat diperoleh dari sumber air Sungai Parungkadali dan Sungai Cikao.



## 5. Transportasi

Sarana transportasi darat di daerah Cikampek sangat memadai karena tersedianya jalan raya dan rel atau jalur kereta api. Disamping itu dekat dengan pelabuhan laut untuk keperluan transportasi laut.

## 6. Tenaga Kerja

Kawasan Cikampek berlokasi tidak jauh dari wilayah Jabotabek yang sarat dengan lembaga pendidikan formal sehingga memiliki potensi tenaga ahli maupun non ahli baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

## 7. Karakterisasi Lokasi

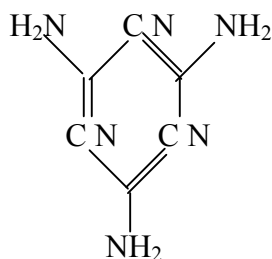
Daerah Cikampek merupakan kawasan industri sehingga untuk pendirian suatu pabrik akan lebih mudah.

### 1.4 Tinjauan Pustaka

Melamin banyak dijumpai pada aplikasi industri untuk proses produksi resin melamin *formaldehid*. Pada sekitar tahun 1960, melamin diproduksi dari *dicyanamid* (Ullman, 2003). Proses ini berlangsung didalam *autoclave* pada tekanan 10 MPa dan suhu 400°C dengan adanya gas amoniak.

Pada awal 1940, Mackay menemukan bahwa melamin juga bisa disintesa dari urea pada suhu 400°C dengan atau tanpa katalis. Sejak saat itu melamin mulai diproduksi dari bahan baku urea (Ullman, 2003).

Melamin pertama kali dipelajari oleh Leibig pada tahun 1834 (Ullman, 2003). Pada saat itu Leibig mendapatkan melamin dari proses peleburan antara *potasium thiosianat* dengan *amonium klorida*. Kemudian pada tahun 1885 A.W Von Hoffman mempublikasikan struktur molekul melamin, sebagai berikut :





### 1.4.1 Macam-Macam Proses

Menurut Ullman, (2003) melamin dapat disintesa dari urea pada suhu 350 – 400°C dengan persamaan (1.1) berikut ini:



Reaksinya bersifat endotermis membutuhkan 629 kJ/mol melamin. Secara garis besar proses pembuatan melamin dapat diklasifikasikan menjadi dua :

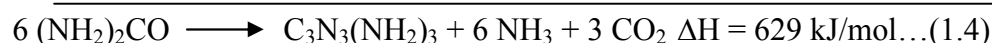
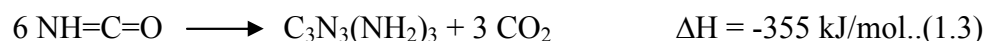
1. Proses tekanan rendah (1MPa) dengan menggunakan katalis.
2. Proses tekanan tinggi ( $\geq 8$  MPa) tanpa katalis.

Masing-masing proses terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap sintesa, recovery dan pemurnian melamin serta pengolahan gas buang.

### 1. Proses Tekanan Rendah dengan Menggunakan Katalis

Proses tekanan rendah dengan katalis menggunakan *fluidized bed reactor* pada tekanan atmosferik sampai 1 MPa pada suhu 390 – 410°C. Sebagai *fluidizing gas* digunakan amoniak murni atau campuran antara amoniak dan karbondioksida yang terbentuk selama reaksi. Katalis yang digunakan yaitu silika dan alumina.

Melamin meninggalkan reaktor berupa gas bersama dengan *fluidizing gas*. Kemudian dipisahkan dari amoniak dan karbondioksida dengan *quenching gas* menggunakan air (yang diikuti dengan kristalisasi) atau sublimasi. Langkah pertama adalah dekomposisi urea menjadi asam isosianat dan amoniak kemudian diubah menjadi melamin. Mekanisme Reaksi :



*Yield* yang diperoleh adalah 90 – 95 %.



Ada tiga proses pada tekanan rendah yaitu:

#### a. Proses *Chemie Linz*

Proses ini terdiri dari dua tahap. Tahap pertama yaitu molten urea terdekomposisi dalam *Fluidized Sand Bed Reactor* sehingga menjadi amoniak dan asam isosianat pada kondisi suhu 350°C dan tekanan 0,35 MPa. Amoniak digunakan sebagai *fluidizing gas* panas yang dibutuhkan untuk dekomposisi dialirkan ke reaktor oleh lelehan garam panas yang disirkulasi melalui koil pemanas. Aliran gas kemudian diumpankan ke reaktor *fixed bed* dimana asam isosianat dikonversi menjadi melamin pada suhu 450°C dan tekanan mendekati tekanan atmosfer. Melamin dipisahkan dari hasil reaksi yang berupa fase gas melalui *quenching* dengan menggunakan air *mother liquor* yang berasal dari *centrifuge*. *Quencher* didesain khusus agar dapat bekerja dengan cepat sehingga mencegah hidrolisis melamin menjadi *ammelid* dan *ammelin*. Suspensi melamin dari *quencher* didinginkan lalu dikristalisasi menjadi melamin. Kemudian kristal dikeringkan dan dimasukkan ke penyimpanan.

#### b. Proses BASF (*Badische Anilin and Soda Fabric*)

Menurut Ullman, (2003) proses BASF menggunakan reaktor satu stage, dimana lelehan urea diumpankan ke *fluidized bed reactor* pada suhu 395 – 400°C pada tekanan atmosferik. Katalis yang digunakan adalah alumina dengan *fluidizing gas* berupa amoniak dan karbondioksida. Suhu reaktor dijaga dengan menyirkulasi lelehan garam dengan menggunakan koil pemanas. Produk yang keluar dari reaktor berupa gas terdiri dari campuran melamin, urea yang tidak bereaksi, biuret, amoniak dan karbondioksida. Katalis yang terbawa aliran gas ditahan pada siklon separator dalam reaktor. Campuran gas tersebut didinginkan dalam *cooler* sampai temperatur *dew point* campuran gas produk.

Campuran gas kemudian masuk ke kristaliser lalu bercampur dengan *off gas* yang telah direcycle pada temperatur 140°C hingga berbentuk kristal melamin. Lebih dari 98 % melamin dapat mengkristal (Ullman,



2003). Kristal melamin yang dihasilkan dipisahkan dari campuran gas dengan menggunakan siklon. Gas *recycle* dari siklon dialirkan ke *scrubber* atau *washing tower* untuk mengambil urea yang tidak beraksi, dan gas digunakan sebagai *fluidizing gas* pada reaktor dan media pendingin pada kristaliser. Proses ini dapat menghasilkan melamin dengan kemurnian 99,9 %.

### c. Proses *Stamicarbon*

Seperti pada proses BASF, proses DSM *Stamicarbon* menggunakan reaktor satu *stage*. Proses berlangsung pada tekanan 0,7 MPa, dengan *fluidizing gas* berupa amoniak murni. Katalis yang digunakan berupa alumina dan silika.

Lelehan urea diumpankan kedalam reaktor bagian bawah. Katalis silika alumina difluidisasi oleh amoniak yang masuk ke reaktor bagian bawah dari *fluidized bed reactor*. Reaksi dijaga pada suhu 400°C dengan mensirkulasi lelehan garam melewati koil pemanas dalam bed katalis.

Melamin yang terkandung dalam campuran reaksi dari reaktor kemudian di-*quenching* dalam *quench cooler*, kemudian dalam *scrubber* untuk disaring dengan *mother liquor* dari *centrifuge*. Dari *scrubber*, suspensi melamin dialirkan kedalam *hydrocyclone* dimana sebagian dari amoniak dan CO<sub>2</sub> terlarut dalam suspensi dipisahkan, lalu campuran gas ini dialirkan ke *absorber* dan akan membentuk amonium karbamat, dari *hydrocyclone* kemudian produk dialirkan ke tangki pencampuran untuk dicampur dengan karbon aktif. Kemudian dimasukkan dalam *precoat filter* dan dialirkan ke kristaliser vakum untuk menghasilkan melamin.

## 2. Proses Tekanan Tinggi Tanpa Katalis

Reaksi yang terjadi pada tekanan tinggi dengan tekanan lebih dari 7 MPa dan suhu yang digunakan lebih dari 370°C (Ullman, 2003).

Secara umum, lelehan urea dimasukkan dalam reaktor menjadi campuran lelehan urea dan melamin. Proses ini menghasilkan melamin dengan



kemurnian >94 %. Panas yang dibutuhkan untuk reaksi disuplai dengan panas elektrik atau sistem penukar panas dengan menggunakan lelehan garam panas.

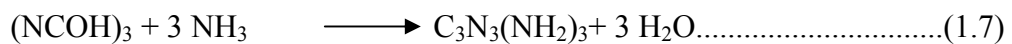
Mekanisme reaksi yang terjadi sebagai berikut :



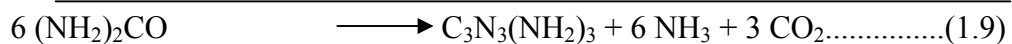
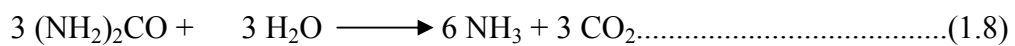
Urea                      *Cyanic acid*    Amoniak



*Cyanic acid*



melamin



Pada proses dengan tekanan tinggi dikenal ada 3 macam proses, yaitu :

## 1. Proseses *Montedison*

Proses ini berlangsung pada suhu 370°C dan tekanan 7 MPa. Panas reaksi disuplai dengan sistem pemanasan menggunakan lelehan garam. Hasil reaksi yang dihasilkan kemudian di-*quencing* dengan NH<sub>3</sub> cair dan CO<sub>2</sub> untuk mengendapkan melamin, sedangkan gas CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> di daur ulang ke pabrik urea.

## 2. Proses Melamin *Chemicals*

Proses ini menghasilkan melamin dengan kemurnian 96 – 99,5 %. Lelehan urea yang dikonversi menjadi melamin dalam reaktor tubuler pada suhu 370 – 425°C dan tekanan 11 – 15 MPa, cairan melamin dipisahkan dari *off gas* dalam gas separator dimana produk melamin akan terkumpul dibagian bawah. Produk yang keluar di-*quenching* dengan NH<sub>3</sub> cair pada unit pendingin, konversi yang dihasilkan adalah 99,5 %. Lelehan urea diumpankan ke reaktor pada suhu 150°C. Campuran hasil reaksi meninggalkan reaktor masuk ke *quencher* kemudian di-*quenching* dengan NH<sub>3</sub> cair dan CO<sub>2</sub> untuk mengendapkan melamin. NH<sub>3</sub> dan CO<sub>2</sub> terpisah dibagian atas *quencher* *direcycle* ke pabrik urea.



### 3. Proses Nissan

Proses Nissan berlangsung pada suhu 400°C dan tekanan 10 MPa. Produk melamin yang dihasilkan didinginkan dan diturunkan tekanannya dengan larutan amonia, setelah melalui proses pemisahan produk melamin dikeringkan dalam *prilling tower* sehingga diperoleh melamin serbuk.

Pada prarancangan pabrik melamin ini dipilih proses BASF karena memiliki tekanan rendah dan kemurnian produk sebesar 99,9 %.

#### 1.4.2 Kegunaan Produk

Kegunaan melamin diantaranya adalah digunakan sebagai bahan baku pembuatan melamin resin, bahan sintesa organik, penyamakan kulit, dan lain-lain. Berikut beberapa sektor industri yang menggunakan bahan baku melamin.

1. Industri laminasi

Industri yang menghasilkan *furniture*.

2. Industri *adhesive*

Merupakan industri yang memproduksi *adhesive* untuk keperluan industri *woodworking* seperti industri *plywood*, industri *blackboard*, industri *particleboard*.

3. Industri *surface coating*

Adalah industri yang menghasilkan cat, tiner, dempul.

4. Industri *moulding*

Merupakan industri yang diantaranya menghasilkan alat keperluan rumah tangga.

Tabel 3 menunjukkan data prosentase penggunaan melamin di beberapa negara maju di dunia.



**Tabel 3. Prosentase Penggunaan Melamin di Beberapa Negara (Ullman, 2003)**

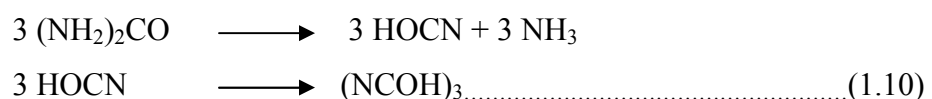
Kegunaan	Erropa (%)	Amerika Serikat (%)	Jepang (%)
Laminasi	47	35	6
Glue, adhesive	25	4	62
Industri moulding	9	9	16
Coating	8	39	12
Kertas dan tekstil	11	5	3
Lain-lain	-	8	1

### 1.4.3 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku dan Produk

#### a. Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku

❖ Sifat kimia urea (Ullman, 2003):

- Bereaksi dengan formaldehid membentuk *monometilourea* dan *dimetilourea* tergantung dari perbandingan urea dan formaldehid.
- Pada tekanan vakum dan suhu 180 – 190°C akan menyublim menjadi *amonium cyanat* (NH<sub>4</sub>OCN).
- Pada tekanan tinggi dan adanya amoniak akan merubah menjadi *cyanic acid* dan *cynuric acid*



❖ Sifat fisis urea (Ullman, 2003):

- Rumus molekul : NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>
- Bobot molekul : 60,06 g/mol
- Titik leleh : 132,7°C
- Titik didih : 195°C
- Bentuk : Kristal tak berwarna
- *Bulk density* : 0,74 g/cc
- Berat jenis : 1,335 g/cc



## b. Sifat Fisis dan Kimia Produk

❖ Sifat kimia melamin (Ullman, 2003):

- Hidrolisa dengan basa, jika direaksikan dengan NaOH akan membentuk *ammeline/ ammelide*

- Pembentukan garam

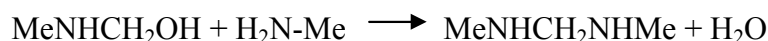
Melamin adalah basa lemah yang akan membentuk garam jika bereaksi dengan asam organik maupun anorganik. Dimana kelarutan garam melamin tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan melamin bebas.

- Reaksi dengan aldehyd, melamin bereaksi dengan aldehyd membentuk bermacam-macam produk yang paling penting adalah reaksi dengan formaldehyd membentuk resin.



Me adalah molekul melamin dimana semua atom hidrogen yang ada pada melamin diganti dengan gugus *methylol* dan menghasilkan produk dari *Monomethylol* sampai *hexamethylol* melamin. *Methylolmelamin* sedikit larut dalam sebagian besar solven dan sangat tidak stabil karena diikuti oleh reaksi resinifikasi/ kondensasi.

Reaksi :



Pada kondensasi melamin produk mempunyai sifat khusus yaitu tahan terhadap panas dan air yang baik.

- Asilasi

Asilasi melamin dapat terjadi dengan sejumlah *anhydrid* melalui tahap *triacyl*.

- Reaksi dengan *amine*

Substitusi melamin dengan gugus alkil pada atom H yang menempel pada gugus N dapat terjadi seperti pada reaksi dibawah ini :





- Klorinasi

Klorinasi melamin yang terjadi cenderung mengganti semua atom hidrogen. Air yang dihasilkan pada reaksi akan menghidrolisa menghasilkan nitrogen triklorida yang berbahaya pada proses klorinasi, melamin stabil ketika kondisinya kering.

- ❖ Sifat fisis melamin (Ullman, 2003):

- Rumus molekul :  $C_3N_6H_6$
- Berat molekul : 126,13 g/mol
- Titik leleh :  $350^{\circ}C$
- Panas pembentukan ( $25^{\circ}C$ ) : 71,72 kJ/mol
- Panas pembakaran ( $25^{\circ}C$ ) : -1976 kJ/mol
- Panas sublimasi ( $25^{\circ}C$ ) : -121 kJ/mol
- *Density* :  $1,573 \text{ g/cm}^3$
- Kapasitas panas ( $C_p$ )
  - Pada 273 – 353K :  $1470 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
  - Pada 300 – 450K :  $1630 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
  - Pada 300 – 550K :  $1720 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Kelarutan dalam suhu  $300^{\circ}C$  dalam gr/100 ml pada :
  - Etanol : 0,06 g/100 cc
  - Aceton : 0,03 g/100 cc
  - Air : 0,5 g/100 cc
- Entropi ( $25^{\circ}C$ ) :  $149 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- Energi gibs ( $25^{\circ}C$ ) : 177 kJ/mol
- Entropi pembentukan ( $25^{\circ}C$ ) :  $-835 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- Temperatur kritis :  $905,56^{\circ}C$
- Tekanan kritis : 99,47 atm

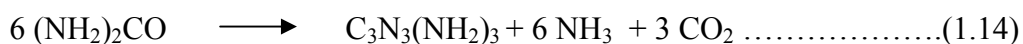
#### 1.4.4 Tinjauan Proses

Bahan baku berupa urea *prill* yang dilelehkan pada *Melter* kemudian dialirkan ke tangki penampung. Dari tangki penampung, lelehan urea



sebagian digunakan untuk menyerap *off gas* dan sebagian diumpankan ke reaktor melalui *nozzle*. Katalis yang digunakan adalah alumina, sedangkan media yang digunakan untuk terjadinya fluidisasi digunakan gas daur ulang yang dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu 400°C. Koil pemanas pada reaktor digunakan untuk menjaga suhu reaktor konstan pada suhu 410°C.

Urea yang diinjeksikan melalui *nozzle* akan menguap secara spontan dan akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Konversi reaksi sekitar 95 % dan yield proses 93 %. Melamin, urea yang tidak bereaksi, biuret, amoniak dan karbondioksida yang terbentuk keluar reaktor secara bersama-sama. Selama reaksi berlangsung, tidak ada penambahan katalis karena deaktivasi katalis terjadi selama 3 tahun.